

Экспериментальные исследования, выполненные на вертикально-фрезерном станке с применением хвостовой пустотелой фрезы Ø32 мм показали, что разработанный способ фрезерования древесных материалов с точки зрения аспирации наиболее эффективен при неполном фрезеровании (когда рассеянный сноп стружки и пыли, обладающий малой кинетической энергией, направляют в сторону стружкоприемника).

### Библиографический список

1. Рудак, П.В. Снижение шумовых характеристик и повышение эффективности удаления стружки из зоны резания при эксплуатации дереворежущих машин / П.В. Рудак, Д. В. Куис // Лесная и деревообрабатывающая промышленность: труды БГТУ. Сер. II. – 2011. – Вып. XIX. – С. 245–247.
2. Аспирационное устройство для фрезерных групп деревообрабатывающих станков с числовым программным управлением / П.В. Рудак, П. Бир, А. Балтрушайтис, О.Г. Рудак, Е.Ю. Разумов, Е.А. Зборин // Лесная и деревообрабатывающая промышленность: труды БГТУ. – 2015. – №2. – С. 238–241.
3. Рудак, П.В. Эффективное удаление стружки и пыли из области обработки в процессе фрезерования древесных материалов / П.В. Рудак, Д.В. Куис // Ресурсо- и энергосберегающие технологии и оборудование, экологически безопасные технологии: мат-лы Междунар. науч.-техн. конф., 24-26 ноября: в 2 ч. – Минск: Белорус. гос. техн. ун-т, 2010. – С. 121–124.

УДК 674.047

**В.В. Сергеев** (V.V. Sergeev)

(УдГУ, филиал в г. Кудымкар, РФ)

**Ю.И. Тракало** (YU.I. Trakalo)

(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)

E-mail для связи с авторами: valerii.sergeev2014@yandex.ru

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ДЕРЕВООБРАБОТКЕ

#### INNOVATIVE TECHNOLOGY IN WOODWORKING

*Рассмотрим вопросы качественной сушки пиломатериалов в деревообрабатывающих производствах лесной отрасли России. Предлагается к рассмотрению инновационная разработка «Способ интенсифицированной сушки пиломатериалов» путём температурного воздействия на влагопроводность древесины.*

*Consider the issues of quality lumber drying in the wood processing industries forest industry. It is proposed to consider innovative development Method for the enhanced drying of lumber" by temperature effects on the hydraulic conductivity of the timber.*

Современный мировой рынок продукции деревопереработки чутко реагирует на происходящие в мире изменения в сфере научно-технического прогресса. Изменяются формы и методы международной торговли, взгляды на процессы ценообразования. Возрастает роль государств в управлении международными экономическими отношениями. Процессы углубления интернационализации и глобализации мирового хозяйства накладывают свой отпечаток на состояние и динамику рынка пилопродукции из

массивной древесины. На отрасли лесопромышленного комплекса приходится в настоящее время приблизительно десятая часть всего промышленного производства в странах с развитой рыночной экономикой. В этот комплекс входят весьма разнообразные и непохожие друг на друга производства, которых объединяет использование древесного ресурса для промышленного и жилищного строительства, в частности, в виде сухих пиломатериалов.

Предприятия лесного комплекса РФ, решая задачи по развитию глубокой переработки древесины (определенные Стратегией развития Российской Федерации на период до 2020 года), особое внимание уделяют наращиванию объёмов как заготовки древесины, так и её переработки.

### **Современные режимы сушки**

Априори подобное воздействие заложено в структуре используемых нормативных режимов и не выходит за границы уровней температур конвективного обезвоживания древесины. Высказываемая идея базируется на технологической концепции наличествующих этапов сушки с обязательным увлажнением обрабатываемой среды в периоды начального прогрева (НВТО) и конечной влаготеплообработки (КВТО) пиломатериалов.

В качестве ускоряющего фактора предлагаемого интенсифицированного режима, исходя из выполненного анализа теоретических положений о влиянии внешнего тепло- и влагообмена на внутренний, был выбран температурный.

Известно [1, 2], что температура материала наиболее существенно влияет на коэффициент влагопроводности древесины. Это явление объясняется увеличением коэффициента диффузии водяного пара и снижением вязкости жидкой влаги в капиллярах древесины при повышении температуры [3]. Как следует из указанных источников, молекулы воды, преодолевая сопротивление мембран пор клеточных оболочек при повышенных температурах, стимулируют стабильный поток жидкой влаги к поверхности древесины.

Следует в полной мере воспользоваться вторым началом термодинамики, которое в общем виде для влажных тел интерпретируется так: по направлению движения теплового потока движется и влага [4].

И, следовательно, чтобы избежать явлений (указанных ниже на примере при совмещённых процессах «сушка-прогрев»), необходимо придерживаться нормативного технологического регламента: осуществлять НВТО пиломатериала, подлежащего сушке. Он должен прогреваться в насыщенной паром среде при степени насыщенности сушильного агента, близком единице.

По данным профессора Б.С. Чудинова, при меньших значениях степени насыщенности среды паром ( $\varphi$ ) продолжительность прогрева пиломатериалов возрастает практически вдвое [5]. Так, например, при прогреве (граничные условия первого рода) сосновых пиломатериалов сечением  $50 \times 150$  мм при параметрах среды  $\varphi = 0,8$  и  $t_c = 80^\circ\text{C}$  продолжительность прогрева  $\tau_{np} = 5$  ч. Если же параметры обогревающей среды оставить прежним ( $t_c = 80^\circ\text{C}$ ), а «влажность воздуха поднять до 100 % ( $\varphi = 1,0$ ), продолжительность прогрева будет в два раза меньше, т. е. 2,4 ч, что хорошо согласуется с опытными данными» [6].

Данную технологическую операцию рекомендуется осуществлять при температуре среды выше температуры первой ступени на  $5\text{--}7^\circ\text{C}$ . Операция начального прогрева (НВТО) является обязательной и предусматривается нормативными документами (РТМ), принятыми и утверждёнными по результатам исследований.

При низкотемпературном процессе сушки, согласно основному закону влагопроводности, плотность потока влаги к поверхности пиломатериала тем выше,

чем выше градиент влажности и коэффициент влагопроводности. При влажности древесины выше предела гигроскопичности этот закон определяет интенсивность перемещения влаги к поверхностной зоне, влажность которой опускается с самого начала процесса до этой величины и даже ниже. Следовательно, основной движущей силой влагопереноса внутри материала в любом случае является положительный градиент влажности.

Стабилизируя высокую температуру центра пиломатериалов, достигнутую в начале процесса их прогрева, нет смысла понижать её до температуры первой ступени сушки. С её понижением снизится и влагопроводность, т. е. следует поддерживать энергетический потенциал среды и нагретой древесины на достигнутом уровне. Эта идея впервые (как это следует из обзора научно-технической литературы по вопросам конвективного теплообмена лесосушильной техники и технологии) была высказана по результатам научно-исследовательских работ [6, 7].

Температуру по сухому термометру предлагалось поддерживать на температурном уровне третьей ступени нормативных режимов. Следует отметить, что при таком способе сушки, такие технологические операции, как НВТО и КВТО не предусматривались, т.к. технологического пара на предприятиях леспромхозов попросту не было. При этом основное внимание уделялось сокращению продолжительности сушки за счёт термодинамического воздействия на влагопроводность древесины, и осуществлялась интенсификация процесса (рис. 1).

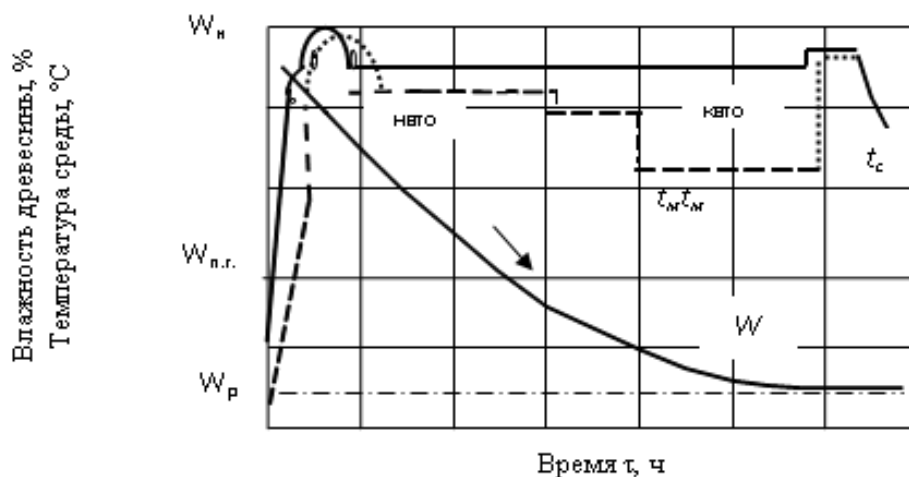


Рис. 1. Структура интенсифицированного режима сушки в камерах периодического действия:  
 $t_c$  – кривая изменения температуры сухого термометра;  $t_m$  – кривая изменения температуры смоченного термометра;  $W$  – кривая изменения средней влажности древесины

Высушиваемый пиломатериал по своим показателям соответствовал требованиям третьей категории качества. Безопасность режима обеспечивается регламентированной нормативной психрометрической разностью, которая постепенно возрастает к концу сушки с учетом переходной влажности материала.

Высокая температура (по показаниям как сухого, так и смоченного термометра) позволяет поднять и температуру древесины, при которой микроструктурные элементы древесины приобретают эластичность и пластичность, что в свою очередь снижает внутренние напряжения и исключает вероятность появления поверхностных трещин и коробления материала. Режимы сушки (на примере древесины березы) приведены в таблице 1 и подразделяются, как и нормативные, на три категории: форсированные, нормальные и мягкие.

Для аналитической проверки и сопоставления явлений влагопереноса при температурном воздействии в предложенной структуре режимов были исследованы графики опытных сушек древесины различных предприятий (также на примере древесины берёзы).

Таблица 1

Режимы сушки древесины берёзы (толщина до 32 мм, 5-Г [8])

| Текущая влажность древесины, % | Форсированный режим (3-Г) |            | Нормальный режим (5-Г) |            | Мягкий режим (6-Г) |            |
|--------------------------------|---------------------------|------------|------------------------|------------|--------------------|------------|
|                                | $t_c$                     | $\Delta t$ | $t_c$                  | $\Delta t$ | $t_c$              | $\Delta t$ |
| Больше 30                      | 100                       | 7          | 83                     | 5          | 77                 | 5          |
| 20–30                          |                           | 11         |                        | 9          |                    | 9          |
| Меньше 20                      |                           | 31         |                        | 26         |                    | 25         |

Примечания:

$t_c$  – температура по сухому термометру (°C);

$\Delta t$  – психрометрическая разность показаний между сухим и мокрым термометрами (°C).

### Совмещённые процессы «сушка-прогрев»

Данный способ сушки с упрощенной, но широко используемой технологией в установках малого бизнеса («ПАП-32», г. Кудымкар лесопильный цех кирпичного завода; «Урал-72», Кочёвский ДОК и ОАО «Кыновской ЛПХ и ряд др.) представлен на рисунке 2 в виде кривых сушки  $t_c$ ,  $t_m$ ,  $W = f(\tau)$ . Значения параметров среды и коэффициентов влагонепроводности показаны в таблице 2.

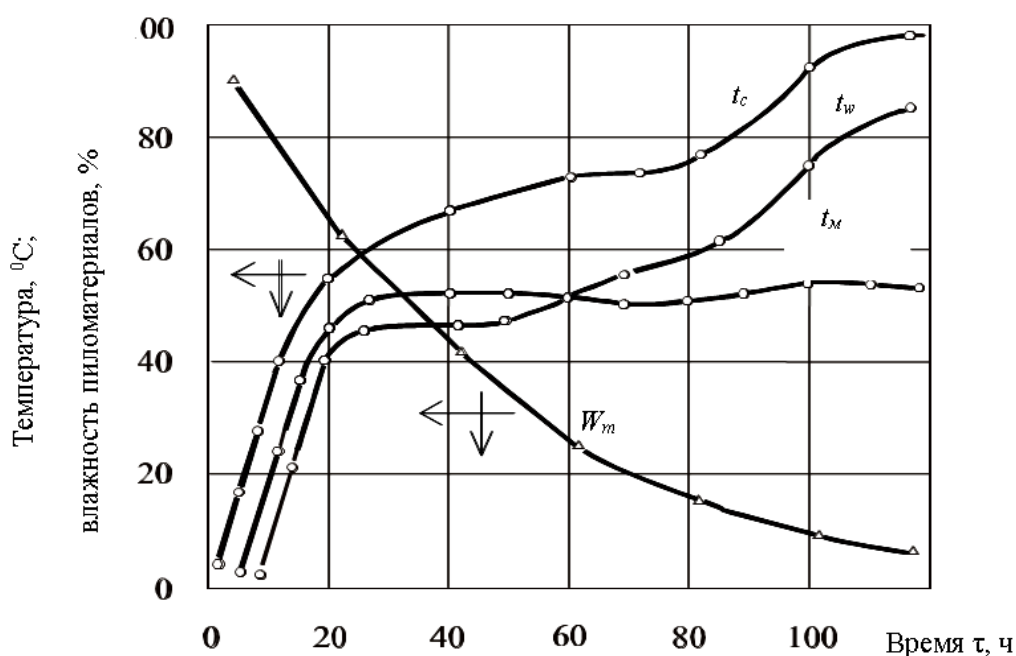


Рис. 2. График процесса сушки без начального прогрева пиломатериалов «сушка-прогрев» в камере «УРАЛ-72»:  $t_c$  – температура по показаниям сухого термометра;  $t_m$  – температура по смоченному термометру;  $W$  – значение средней влажности пиломатериалов штабеля;  $t_u$  – температура в центре сортифта

Таблица 2

Численные значения параметров среды и коэффициентов влагопроводности древесины берёзы в процессе «сушка-прогрев» (рис. 2)

| Время сушки, $\tau$ , час | Температура, $^{\circ}\text{C}$ |       |            |                   | Средняя влажность древесины, $W_{\text{тек}}$ % | Коэффициент влагопроводности древесины $a' \cdot 10^6$ , $\text{см}^2/\text{с}$ | Критерий фазового превращения жидкости в пар, $r_{\phi}$ |
|---------------------------|---------------------------------|-------|------------|-------------------|---|---|--|
|                           | $t_c$                           | $t_m$ | $\Delta t$ | $t_{\text{древ}}$ |   |   |  |
| 0                         | 15                              | 13    | 2          | 13                | 80  | 1,2   | —  |
| 20                        | 56                              | 48    | 8          | 48                | 64  | 4,0   | 0,8**  |
| 40                        | 64                              | 48    | 16         | 48                | 41  | 4,0   | 0,7**  |
| 60                        | 72                              | 46    | 26         | 50                | 24  | 4,0   | 1,0**  |
| 80                        | 78                              | 48    | 30         | 56                | 18  | 5,2   | 1,0**  |
| 100                       | 87                              | 53    | 35         | 70                | 10  | 5,5   | 1,0**  |
| 120                       | 87                              | 51    | 34         | 72                | 8   | —   | —  |

Примечание:

\*\* – при удалении влаги доминирует диффузия водяного пара.

Графическая интерпретация динамики изменения основных показателей процесса сушки показана на рисунке 3. Как видно из представленной таблицы, коэффициент влагопроводности, отражающий один из основных показателей физических свойств древесины, изменяется от 1,2 до 5,5 ( $10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$  синхронно, с повышением температуры древесины). Он принимался по рекомендациям Московского государственного университета леса (МГУЛ): на первом этапе сушки – по температуре мокрого термометра, на втором – по температуре сухого термометра [9]. Его величина зависит в основном от температуры, породы и плотности древесины. При повышении температуры он заметно возрастает. В научных трудах профессора П.С. Серговского это объясняется снижением вязкости жидкой влаги в капиллярах и увеличением диффузии водяного пара.

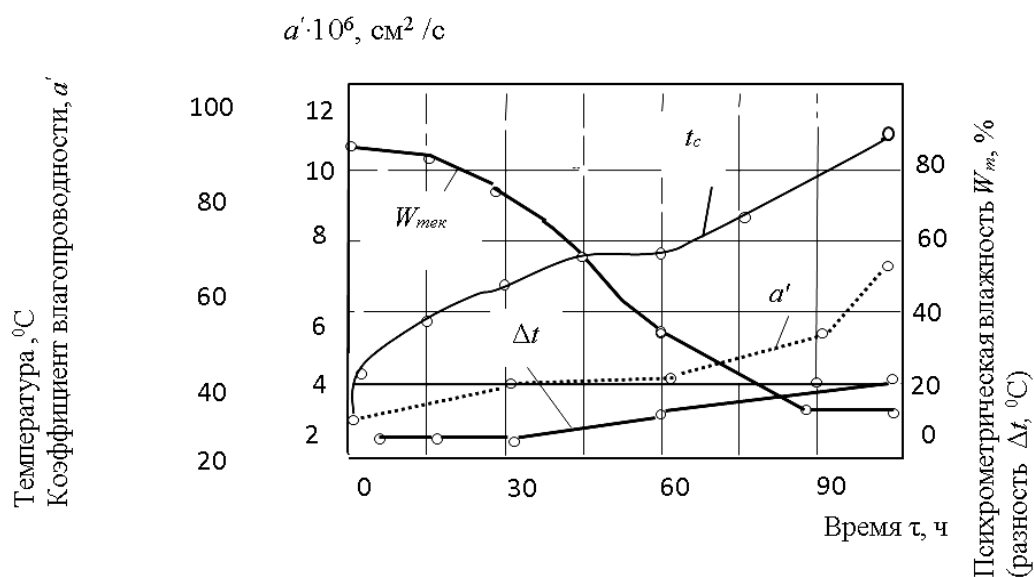


Рис. 3. График зависимости коэффициента влагопроводности древесины от величины температуры древесины в процессе сушки и прогрева одновременно

В нашем случае до текущего времени сушки,  $\tau = 60$  ч, когда значение влажности древесины достигло предела гигроскопичности,  $W_{n,z} = 30\%$ , коэффициент влагопроводности достиг значения  $a' = 4 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Указанная величина незначительна, поскольку при удалении свободной влаги в этот период от центра материала к поверхности она движется только под действием градиента капиллярного давления. И через пересушенный поверхностный слой, который препятствует, с одной стороны, передаче тепла (уменьшению теплопроводности древесины) от сушильного агента внутрь доски, а с другой стороны, свободная влага, испаряясь, забирает часть тепла. Следовательно, отрицательный градиент температуры препятствует градиенту влажности, влагопроводность не изменяется, оставаясь на прежнем уровне. При значении температуры древесины выше  $56^\circ\text{C}$  наступает переходный период: возрастает влагопроводность, и основной движущей силой в удалении влаги становится градиент влажности.

С самого начала сушильного процесса влага движется к поверхности доски (очевидно, в незначительной степени) в виде жидкости и в большей степени в виде диффундирующего пара – это было показано выше. Градиенты влажности и температуры направлены противоположно, процесс сушки осложнён и замедляется. Это было показано в наших исследованиях при совмещённом способе «сушка-прогрев» – критерий фазового перехода жидкости в пар –  $\epsilon$  – по своему значению близок к единице.

Сначала свободная, а затем связанная влага в виде пара устойчиво перемещается к поверхности, т. е. осуществляется молярный перенос диффундирующего пара.

С этого момента, когда  $W_{n,z} = 24\%$ , текущее время равно 60 ч – температура в камере возрастает почти по линейной зависимости, коэффициент влагопроводности возрастает в 1,6 раза – до значения  $a' = 5,5 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ .

Таким образом, практически половина продолжительности сушки протекает при условиях, когда величина коэффициента влагопроводности, имея значение ниже возможного уровня, снижает эффективность сушки.

Следовательно, способ совмещённых процессов «сушка-прогрев» не позволяет реализовать потенциальные возможности основного закона влагопереноса, устанавливающего превалирующее влияние на плотность потока влаги коэффициента влагопроводности и в меньшей степени – градиента влажности, т. е.

$$i = -a' \rho_{\delta} \frac{du}{dx}, \quad (1)$$

где  $i$  – плотность потока влаги,  $\text{г}/\text{см}^2 \cdot \text{с}$ ;

$a'$  – коэффициент влагопроводности,  $\text{см}^2/\text{с}$ ;

$\rho_{\delta}$  – базисная плотность древесины,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$\frac{du}{dx}$  – градиент влажности.

Уравнение влагопроводности, полученное в МГУЛ, может служить основой для анализа скорости и продолжительности сушки древесины при ее начальной влажности как ниже, так и выше предела гигроскопичности [3]. В первом случае это уравнение справедливо для всего объема высушиваемого сортимента, а во втором оно определяет интенсивность перемещения влаги в поверхностной зоне, влажность которой опускается с самого начала совмещённого процесса «сушка-прогрев» до величины  $W_{n,z}$  и ниже, и таким образом (хотя и в осложнённых условиях) реализуется обезвоживание древесины.

### Новый способ сушки

Рассмотрим, как выглядит динамика изменения параметров процесса сушки по предлагаемому технологическому регламенту, представленному на рисунке 1. Нормативные уровни температур в зависимости от текущей влажности режима 6-Г (мягкий режим, в расчёте на теплоноситель в виде горячей воды с  $t_{гв} = 70\text{--}80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , как наиболее распространённый) даны в таблице 2.

Численные значения параметров процесса сведены в таблицу 3. Текущее время процесса (правый столбец) охватывает 70 часов, а продолжительность сушки с начальной и конечной тепловлагообработками равна 53 часам, что меньше почти вдвое, чем в рассмотренном выше примере (рис. 3). Главное не в этом, а в том, что в этот период должно было быть удаление влаги в виде жидкости (что увеличило бы скорость сушки), а не в виде пара. Как уже выше было показано, в совмещённом процессе «сушка-прогрев» влага перемещается в большей степени в виде диффузионного пара, т. е. идёт диффузионно-молярный перенос влаги к поверхности, а дальше пар диффундирует в сушильный агент. Это замедляет процесс сушки и имеется опасность трещинообразований в поверхностной зоне сортимента. Второй закон термодинамики в предыдущем примере не работает.

Таблица 3

Численные значения нормативных параметров среды  
и коэффициентов влагопроводности древесины берёзы  
в предлагаемом процессе (см. рис. 1)

| Время<br>сушки $\tau$ ,<br>час | Температура, $^{\circ}\text{C}$ |       |            |            | Средняя<br>влажность<br>древесины $W$ , % | Коэффициент<br>влагопроводности<br>древесины<br>$a' \cdot 10^6$ , $\text{см}^2/\text{с}$ | Критерий<br>фазового<br>превращения<br>жидкости в пар,<br>$r_{\phi}$ |
|--------------------------------|---------------------------------|-------|------------|------------|---|--|--|
|                                | $t_c$                           | $t_m$ | $\Delta t$ | $t_{древ}$ |   |  |  |
| 0                              | 18                              | 10    | 8          | 18         | 54  | 2,2  | —  |
| 5                              | 78                              | 78    | 0          | 78         | 54  | 12,0   | —  |
| 10                             | 70                              | 71    | 1          | 80         | 46  | 10,0   | 0,072*   |
| 20                             | 70                              | 71    | 1          | 71         | 40  | 9,0  | 0,16*  |
| 30                             | 70                              | 68    | 2          | 68         | 33  | 6,0  | 0,25*  |
| 40                             | 70                              | 68    | 2          | 68         | 20  | 8,2  | 0,48**   |
| 50                             | 70                              | 51    | 19         | 70         | 8   | 12,0   | 0,56**   |
| 60                             | 70                              | 51    | 19         | 70         | 8   | 12,0   | 0,92**   |
| 70                             | 78                              | 78    | 0          | 70         | 8   | 12,0   | —  |

Примечания:

\* – превалирует при удалении жидкости;

\*\* – превалирует при удалении пара.

Графическая интерпретация процесса с динамикой изменения влагопроводности представлена на рисунке 4. Конвективный нагрев древесины перед последующей сушкой – самый распространённый. При правильном подборе теплоносителей и режимов тепловой обработки этот способ высокопроизводителен, экономичен и обеспечивает достаточно высокое качество обработки.

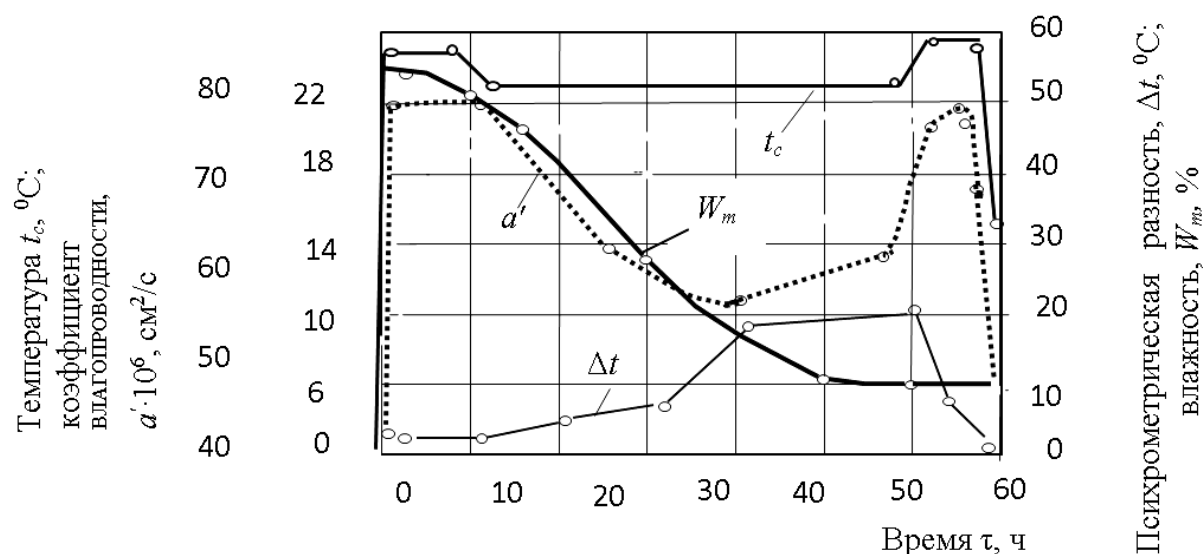


Рис. 4. График зависимости коэффициента влаготеплопроводности древесины сосны от величины температуры древесины в процессе сушки с начальной и конечной влаготеплообработками по интенсифицированному (предлагаемому) режиму (см. рис. 1)

После окончания НВТО в течение 5 часов при температуре  $t_c = 78^\circ\text{C}$  и коэффициенте влаготеплопроводности  $22 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$  осуществляется процесс сушки до текущей влажности, равной 40 %. Влага движется к поверхности в виде жидкости при постоянной скорости влаготеплопереноса. При переходной влажности 20–30 % скорость сушки замедляется, при этом коэффициент влаготеплопроводности снижается с  $18 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$  до  $12 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ . Далее психрометрическая разность возрастает до значения  $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ ; текущее время  $\tau = 40$  час. Связанная влага удаляется в виде диффундирующего пара, и поверхностные слои древесины стремятся к  $W_p = 5\%$ , при этом их температура принимает  $t_n = t_c = 80^\circ\text{C}$ .

Коэффициент влаготеплопроводности  $a'$  начинает возрастать до значения  $13 \cdot 10^{-6} \text{ см}^2/\text{с}$ , текущая влажность достигает  $W_m = 8\%$ , далее сушка закончена и начинается КВТО продолжительностью  $\tau = 3$  ч; диспергированная вода образует плёночную конденсацию на поверхности материала. Охлаждение осуществляется в соответствии с нормативными рекомендациями (1 см – 1 час).

Упрощенные технологии, которые рекомендовались на ранних этапах создания небольших сушильных хозяйств в ЛПХ из-за недостаточного опыта и отсутствия информации о процессах и закономерностях обезвоживания, ушли в прошлое. Игнорирование НВТО и КВТО было ошибочным, и стремление «сэкономить» энергию приводит к ухудшению качества высушиваемой древесины и увеличению продолжительности сушки.

Использование в качестве обогревающей среды газообразных агентов (воздуха или топочных газов) также связано с необходимостью более длительной тепловой обработки.

Значительная продолжительность тепловой обработки в газообразной среде объясняется тем, что коэффициент теплоотдачи от нее к поверхности древесины ( $\alpha$ ) даже в условиях вынужденной конвекции невелик, в то время как для конденсирующихся водяных паров и аэрозольных мелкодисперсных водяных сред он имеет очень высокое значение.



Для оценки интенсивности нагрева древесины в различных обогревающих средах нами было использовано известное положение теории теплопроводности [10, 11], согласно которому при конвективном нагревании твердого тела в любой обогревающей среде интенсивность теплообмена будет одинакова, если критерий теплового подобия Био ( $Bi$ ) имеет значения свыше 70. Его значение определяется из следующего соотношения [4]:

$$Bi = \alpha R / \lambda, \quad (2)$$

где  $R$  – определяющий размер нагреваемого сортамента (для пиломатериалов – половина толщины доски), м,

$\lambda$  – теплопроводность древесины.

Путем расчетов нетрудно установить, что при нагревании древесины в газообразной среде насыщенного пара с водяной аэрозолью критерий  $Bi$  всегда больше 70.

В рассматриваемых камерах периодического действия, как было отмечено выше, не располагая технологическим паром, используют горячую воду, диспергируемую при помощи распылительных форсунок. В своей работе профессор Г.С. Шубин [2] рекомендует осуществлять повышение влагосодержания сушильного агента при проведении влагообработок, распыляя горячую воду, которая позволяет с большей эффективностью, чем насыщенный пар, прогревать древесину.

#### **Выводы:**

1. С учетом закономерностей движения влаги в древесине при сушке интенсификация процесса низкотемпературными режимами возможна без снижения качества за счёт дополнительного термодинамического воздействия на коэффициент влагопроводности, отражающий один из основных показателей физических свойств древесины, изменяя его от  $1,2 \cdot 10^{-6}$  до  $22,4 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с; скорость сушки можно увеличить в 2–3 раза по сравнению с совмещёнными процессами «сушка-прогрев».

2. Высокий термодинамический потенциал рекомендуется поддерживать на уровне температуры третьей ступени нормативных режимов на протяжении всего процесса. Безопасность режима обеспечивается регламентированной нормативной психрометрической разностью, которая постепенно возрастает к концу сушки с учетом переходной влажности материала; новизна технологического решения отмечена патентом [12].

3. Молекулы воды, преодолевая сопротивление мембран пор клеточных оболочек при повышенных температурах, стимулируют стабильный поток жидкой влаги к поверхности древесины, перемещая зону испарения из центра сортамента на поверхность; критерий фазового превращения жидкости в пар  $\epsilon$  должен быть в пределах 0,3–0,5.

4. При сушке по совмещённому способу «сушка-прогрев» на начальном этапе пересушенный поверхностный слой (за счёт уменьшения теплопроводности древесины) препятствует передаче тепла от сушильного агента в центр, что замедляет процесс влаготеплопереноса встречными градиентами влажности и температуры; коэффициент влагопроводности находится в пределах  $5,2\text{--}5,3 \cdot 10^{-6}$  см<sup>2</sup>/с; скорость сушки равна 30 кг/ч, что в два раза меньше, чем в предлагаемом способе сушки.

5. Для реализации технологического регламента, изложенного в РТМ, и исключения отрицательных явлений, осложняющих обезвоживание, рекомендуется использование горячей диспергированной воды в рабочем объеме сушильной камеры, которая, создавая высокую насыщенность сушильного агента, интенсифицирует не только процесс обезвоживания, но и проведение начальной и конечной влаготеплообработок.

### Библиографический список

1. Кречетов, И.В. Сушка и защита древесины / И.В. Кречетов. – М.: Лесная промышленность, 1987. – 327 с.
2. Серговский, П.С. Гидротермическая обработка древесины / П.С. Серговский. – М.: Гослесбумиздат, 1958. – 440 с.
3. Шубин, Г.С. Рациональные скорости и характер циркуляции сушильного агента в камерах периодического действия / Г.С. Шубин // Сборник докладов научн.-техн. конф. – Архангельск, 1990.
4. Серговский, П.С. Исследование влагопроводности и разработка методов расчета процессов сушки и увлажнения древесины: дис. д-ра техн. наук / П.С. Серговский. – М.: 1953. – 359 с.
5. Лыков, А.В. Теория сушки / А.В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
6. Чудинов, Б.С. Теория тепловой обработки древесины / Б.С. Чудинов. – М., 1968. – 255 с.
7. Бокщанин, Ю.Р. Опыт сушки лиственных заготовок крупных сечений для Олимпийского велотрека / Ю.Р. Бокщанин, В.В. Сергеев // Актуальные направления развития сушки древесины: тез. докл. Всесоюзной конф. ЦНИИМОД. – Архангельск, 1980. – С. 111–116.
8. Сергеев, В.В. Бескалориферные и конденсационные лесосушильные камеры / В.В. Сергеев, В.Л. Меллер, П.С. Серговский // Мех. обр. дерев: обзорная инф-ия. – Вып. 8. – М.: ВНИПИЭлеспром, 1980. С. 1–37.
9. Руководящие технические материалы по технологии камерной сушки пиломатериалов. – Архангельск: Научдревпром-ЦНИИМОД, 2000. – 126 с.
10. Лурье, М.Ю. Сушильное дело / М.Ю. Лурье. – Л.: Кубуч, 1934. – 406 с.
11. Романов, В.Г. О сушке березового пиломатериала в камерах аэродинамического нагрева. № Д. 730063 / В.Г. Романов, В.В. Сергеев. – М.: ВНИПИЭПлеспром, 1976.
12. Сергеев, В.В. Особенности сушки пиломатериалов в установках с жаротрубными теплообменником / В.В. Сергеев, О.Н. Ведерников // Труды VI Междунар. евразийск. симп. – Екатеринбург: УГЛТУ, 2012. – С. 200–203.
13. Пат. 2457411 Российская Федерация. Способ сушки / Тракало Ю.И., Ведерников О.Н., Меньшиков Б.Е., Сергеев В.В.; опубл. 27.07.2012.

УДК 674.04

**Е.С. Синегубова, О.В. Кузнецова, Н.А. Мингазов**  
(E.S. Sinegubova, O.V. Kuznecova, N.A. Mingazov)  
(УГЛТУ, г. Екатеринбург, РФ)  
E-mail для связи с авторами: kkkontrol@yandex.ru

### **ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОЙ СРЕДЫ НА ОСНОВНЫЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ДРЕВЕСИНЫ**

### **THE EFFECT OF TEMPERATURE ENVIRONMENTS ON BASIC PHYSICO-MECHANICAL PROPERTIES OF WOOD**

*Представлены результаты исследования зависимости предела прочности лиственной древесины на скалывание поперек волокон по тангенциальной плоскости от температуры и продолжительности тепловой обработки.*